

DIALOG(R)File 347: JAPIO  
(c) 2009 JPO & JAPIO. All rights reserved.

03157005 \*\*Image available\*\*  
**SPRING DEVICE**

**Pub. No.:** 02-132505 [JP 2132505 A ]

**Published:** May 22, 1990 (19900522)

**Inventor:** IWAKI SATOSHI

GOMI HIROAKI

**Applicant:** NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT> [000422] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

**Application No.:** 63-285892 [JP 88285892]

**Filed:** November 14, 1988 (19881114)

**International Class:** [ 5 ] G05D-003/10; B23Q-009/00; F16F-001/00

**JAPIO Class:** 22.3 (MACHINERY -- Control & Regulation); 22.1 (MACHINERY -- Machine Elements); 25.2 (MACHINE TOOLS -- Cutting & Grinding)

**Journal:** Section: P, Section No. 1088, Vol. 14, No. 360, Pg. 62, August 03, 1990 (19900803)

#### **ABSTRACT**

**PURPOSE:** To electrically produce a stable spring having a negative compliance constant by using a compensator which positively feeds back a signal proportional to the output current of a power amplifier or a signal inputted to the power amplifier.

**CONSTITUTION:** An actuator 1 drives a rotor 5 with the output current (i) received from a power amplifier 2. The displacement (x) of the rotor 5 is detected by a displacement sensor 3 and then multiplied by the gain  $k(s)$  to be inputted to a compensator 4 as a signal  $y (= k(s)x)$ . The compensator 4 can own the negative compliance characteristics by the positive feedback of a signal which is proportional to the current (i). The negative compliance characteristics can also be obtained by selecting a control parameter in consideration of the primary delays of the current and voltage of a power amplifier even in case this amplifier applies a constant voltage formula. Thus it is possible to electrically obtain the stable negative spring characteristics that have the displacement in the direction opposite to the external force.

## ⑫ 公開特許公報(A)

平2-132505

⑤Int. Cl.<sup>5</sup>G 05 D 3/10  
B 23 Q 9/00  
F 16 F 1/00

識別記号

Z  
Z

庁内整理番号

8209-5H  
6759-3C  
8917-3J

⑬公開 平成2年(1990)5月22日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全5頁)

⑭発明の名称 ばね装置

⑰特 願 昭63-285892

⑱出 願 昭63(1988)11月14日

⑲発 明 者 岩 城 敏 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲発 明 者 五 味 裕 章 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑲出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑲代 理 人 弁理士 光石 英俊 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

ばね装置

## 2. 特許請求の範囲

アクチュエータと、該アクチュエータを駆動するパワーアンプと、該アクチュエータのロータの変位を測定する変位センサと補償器を有する駆動制御系により電気的に実現される安定なばね装置であって、該補償器により該パワーアンプの出力電流に比例した信号を正帰還させ、あるいは該パワーアンプへの入力信号を正帰還させることによって、該ロータに加わる外力から該ロータの変位までの伝達関数に少なくとも1個の不安定零点を持たせ、該外力に対して該外力の方向と逆の方向に該ロータを変位させることを特徴とするばね装置。

## 3. 発明の詳細な説明

## &lt;産業上の利用分野&gt;

本発明は、アクチュエータと、該アクチュ

エータを駆動するパワーアンプと、該アクチュエータのロータの変位を測定する変位センサと補償器を有する駆動制御系により電気的に実現される安定なばね装置に関するものである。

## &lt;従来の技術&gt;

通常の弾性体によるばねの組合せでは、外力の方向と逆の方向に変位するような安定な負のばねは、原理的に実現不可能である。

また、アクチュエータと、該アクチュエータを駆動するパワーアンプと、該アクチュエータのロータの変位を測定する変位センサと補償器を有する安定な駆動制御系により電気的に実現されるばねにおいても、従来は補償器内で該変位信号を負帰還させることのみであったために、該ロータに加わる外力に対して逆の方向にロータが変位する安定な負のばねは実現できなかった。

## &lt;発明が解決しようとする課題&gt;

上記従来技術に鑑み本発明では、全系が安

定性を保持する範囲で該補償器により、該パワーアンプの出力電流に比例した信号を正帰還させ、あるいは該パワーアンプへの入力信号を正帰還させることにより、該ロータに加わる外力からロータ変位までの伝達関数に不安定ゼロ点を持たせることにより、該不安定ゼロ点に対応する周波数帯域で該伝達関数のゲインを負の値に設定し、該ロータに加わる外力の方向と逆の方向にロータが安定に変位するような、電気的な負のばねを実現するものである。すなわち、ロータに加わる外力とロータの変位が、静的状態あるいは低周波数帯域で、負の比例定数を持つ線形関係となるような安定な負のばねを電気的に実現するものである。

本発明の目的は、外力の方向と逆の方向に変位するような負のコンプライアンス定数を有する安定なばねを、電気的に実現することである。

装置の例について説明するが、回転系に対しても全く同様にして適用できるものである。

第1図～第3図に本発明の一実施例を示す。同図に示すように本実施例のばね装置は、例えばボイスコイルモータ等の並進駆動アクチュエータ1と、定電流式のパワーアンプ2と、非接触式ギャップセンサ等の変位センサ3と補償器4とを有する駆動制御系からなる。アクチュエータ1はパワーアンプ2からの出力電流*i*によってロータ5を駆動し、その変位*x*が変位センサ3によって検出され、ゲイン*k<sub>s</sub>*を乗じられて信号*y* ( $=k_s x$ ) として補償器4へ入力される。補償器4はパワーアンプ2からの出力電流*i*に比例した信号の正帰還により負のコンプライアンス特性を持たせることができる。定電圧式のパワーアンプを用いる場合でも、後述するように定電圧式のパワーアンプにおける電流と電圧の1次遅れを考慮して制御パラメータを選ぶことにより、負のコンプライアンス特性を実現できる。

<課題を解決するための手段及び作用>

本発明は、電気的に実現されるばねにおいて、パワーアンプの出力電流に比例した信号を正帰還させ、あるいは該パワーアンプへの入力信号を正帰還させる補償器を設けたことが最も主要な特徴である。

本発明の補償器は従来の補償器が負帰還のみを行うのに対し、パワーアンプの出力電流に比例した信号を正帰還させ、あるいは該パワーアンプへの入力信号を正帰還させるので、ロータに加わる外力からロータの変位までの伝達関数に少なくとも1個の不安定零点を有することが可能となり、これによりロータに加わる外力に対して外力と逆の方向へロータが変位することとなる。

<実施例>

以下、本発明の実施例について図面を参照して詳細に説明する。尚、以下の実施例においては並進駆動用アクチュエータを用いて、並進外力に対し逆の方向へ並進変位するばね

ここで、上記並進駆動アクチュエータの一般的なブロック線図を第3図に示すように、ロータ5に加わる外力*q*からロータ5の変位*x*までの伝達関数*G<sub>px</sub>*は下式(1)で示される。

$$G_{px} = \frac{\delta}{s^2 + \alpha s + \beta} \quad \dots (1)$$

但し、 $\alpha = D_0 / M_0$ 、 $\beta = K_0 / M_0$ 、 $\delta = 1 / M_0$ であり、また、*D<sub>0</sub>*はアクチュエータの粘性係数、*M<sub>0</sub>*はロータ5の質量、*K<sub>0</sub>*はアクチュエータのばね定数である。第3図中、*k<sub>1</sub>*はアクチュエータの力定数、*f*はアクチュエータの発生する力、 $\dot{x}$ はロータの速度、 $\ddot{x}$ はロータの加速度、 $\int$ 、 $\int$ は積分器である。

次に、本実施例のばね装置を実現するための駆動制御系のブロック線図を第2図に示すように、積分器6を使用するものであり、これから下式(2)(3)(4)の関係式が導かれる。

$$u = m_{00} y + (m_{01} y + \ell_1 i) / s \quad \dots (2)$$

$$i = k_a u \quad \dots (3)$$

$$y = k_s x \quad \dots (4)$$

但し、 $u$  はパワーアンプの入力、 $\ell_1$  は正帰還ゲイン、 $m_{00}$ 、 $m_{01}$  は制御パラメータ、 $k_a$  はパワーアンプのゲインである。

上記(1)式～(4)式より補償後の外力  $q$  からロータの変位  $x$  までの伝達関数  $W_{qx}$  を計算すると下式で示される。

$$W_{qx} = \frac{\delta(s - \ell_1)}{s^3 + (\alpha - \ell_1)s^2 + (\beta - \alpha\ell_1 - m_{00}\gamma)s - \beta\ell_1 - m_{01}\gamma} \quad \dots(5)$$

但し、 $\gamma = k_a k_1 k_g / M_0$  である。

ここで、外力に対し反対方向に安定に変位するためには、上記(5)式の伝達関数  $W_{qx}$  が安定で、かつ分子に不安定零点を持つ非最小位相推移系でなければならない。即ち、伝達関数  $W_{qx}$  の分母が  $s$  平面の左半分に極を有し、その分子が  $s$  平面の右半分に零点を有する系でなければならない。そのための条件を、Hurwitzの方法により求めると、下式に示す連立不等式を満たす制御パラメータ  $m_{00}$ 、 $m_{01}$ 、正帰還ゲイン  $\ell_1$  を選択すれば良いこととなる。

$$0 < \ell_1 < \alpha \quad \dots(6)$$

$$\beta - \alpha\ell_1 - m_{00}\gamma > 0 \quad \dots(7)$$

$$-\beta\ell_1 - m_{01}\gamma > 0 \quad \dots(8)$$

$$(\alpha - \ell_1)(\beta - \alpha\ell_1 - m_{00}\gamma) - (-\beta\ell_1 - m_{01}\gamma) > 0 \quad \dots(9)$$

従って、このような条件が満たされる時、 $\omega < \ell_1$  (rad/sec) なる周波数帯では、Gain ( $W_{qx}$ )  $< 0$  となり、一定外力  $q_0 > 0$  を加えた時のロータの変位  $x$  の定常値  $x'$  は下式で示すようになり、外力と反対の方向に安定に変位することとなる。

$$x' = \frac{\delta\ell_1}{\beta\ell_1 + m_{01}\gamma} q_0 < 0 \quad \dots(10)$$

以下に具体的な数値例を示す。 $D_0 = 7.0$  N/m/s、 $M_0 = 0.1$  kg、 $K_0 = 0$  N/m、 $k_g = 1$  V/A、 $k_1 = 1$  N/A、 $k_g = 5$  V/mm の時は、例えば、 $m_{00} = -1.4$ 、 $\ell_1 = 28$ 、 $m_{01} = -28.0$  なる制御パラメータを選択すれば、 $W_{qx}$  は以下のようなになる。

$$W_{qx} = \frac{10s - 280}{s^3 + 872s^2 + 50400s + 1.4 \times 10^6} \quad \dots(11)$$

$D_0 > 0$  とすれば良い。

次に、本発明の他の実施例について第5図に示すブロック線図を参照して説明する。尚、同図に示す実施例においても、アクチュエータとして第3図に示す並進駆動アクチュエータを使用した。また、以下では簡単のため、記述する定数および変数は全て、適当な値で無次元化されているものとして説明する。補償後の外力  $q$  からロータの変位  $x$  までの伝達関数  $W_{qx}$  は以下のようなになる。

$$W_{qx} = \frac{b_1 s + b_0}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad \dots(12)$$

但し、

$$\begin{aligned} a_3 &= k_u k_d M_0, \quad a_2 = k_u k_p M_0 + k_u k_d D_0 - M_0, \\ a_1 &= k_u k_p D_0 + k_u k_d K_0 - D_0 - k_d, \quad a_0 = k_u k_p K_0 - K_0 - k_p, \\ b_1 &= k_u k_d, \quad b_0 = k_u k_p - 1 \end{aligned}$$

ここで、(12)式において以下の連立方程式を満たす制御パラメータ  $k_p$ 、 $k_d$ 、正帰還ゲイン  $k_u$  を選べば、 $W_{qx}$  は安定でかつ、分子に不安定零点を持つ非最小位相推移系となる。

この系は明らかに安定であり、0周波数あるいは十分低い周波数帯域においては、ロータに加わる外力  $q$  と変位  $x$  の関係は、

$$x = -0.0002q \quad \dots(13)$$

となり、 $-0.0002$  (mm/N)  $= -0.2$  (mm/N) という負のコンプライアンス定数を持つ負のばねが実現されるのである。この値は、制御パラメータとアクチュエータの特性を調整することにより自由に設定可能である。

第4図は、大きさ1Nのステップ状外力  $q$  を加えた時のロータの変位  $x$  のシミュレーション結果を示す。同図より、ロータは定常的に印加した外力と逆の方向に、(13)式に従って0.2mm変位していることが確認できる。

なお、この実施例においては、アクチュエータに摩擦が無い場合、すなわち、 $D_0 = 0$  のときは(6)式が満たされないため安定な負のばねは実現できない。このような場合は、機械的あるいは電氣的にダンピングを付加することにより、アクチュエータの特性を改善し、

$$b_1 > 0 \quad \dots(14)$$

$$b_0 < 0 \quad \dots(15)$$

$$a_j > 0 \quad (j=0, \dots, 3) \quad \dots(16)$$

$$a_2 a_1 - a_0 a_3 > 0 \quad \dots(17)$$

従って、 $\omega < b_0/b_1$  なる周波数帯域では、 $\text{Gain}(W_{qx}) < 0$  となり、一定外力  $q_0 > 0$  を加えた時のロータの変位  $x$  の定常値  $x'$  は、下式に示すようになり、安定な負のばねが実現できる。

$$x' = (b_0/a_0) q_0 < 0 \quad \dots(18)$$

以下に具体的な数値例を示す。簡単のため、 $D_0 = 1.0$ 、 $M_0 = K_0 = k_s = k_1 = k_2 = 1$  の時は、例えば、 $k_u = -0.5$ 、 $k_p = -1$ 、 $k_d = -1.0$  なる制御パラメータを選択すれば、 $W_{qx}$  は以下のようになる。

$$W_{qx} = \frac{5s - 0.5}{5s^3 + 49.5s^2 + 5s + 0.5} \quad \dots(19)$$

従って、この系は明らかに安定であり、一定外力  $q_0$  とロータの変位  $x$  の定常値  $x'$  との静的な関係は、次式例に示すようになり、

能となる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例にかかるばね装置の装置構成図、第2図は第1図に示すばね装置のブロック線図、第3図は一般的な2次の並進駆動用アクチュエータのブロック線図、第4図は大きさ1Nのステップ状外力を加えた時のロータ変位をシミュレーションした結果を示すグラフ、第5図は本発明の他の実施例を示すグラフである。

図 面 中、

- 1 は並進駆動アクチュエータ、
- 2 はパワーアンプ、
- 3 は変位センサ、
- 4 は補償器、
- 5 はロータ、
- 6, 7, 8 は積分器である。

-1 という負のコンプライアンス定数を持つ負のばねが実現される。

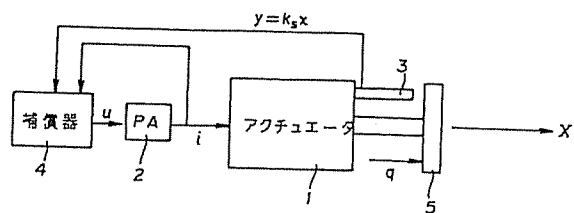
$$x' = -q_0 \quad \dots(20)$$

なお、前述した実施例と同様に  $D_0 = 0$  のときは、機械的、あるいは電氣的にダンピングを付加することにより、アクチュエータの特性を改善し、 $D_0 > 0$  とすれば良い。

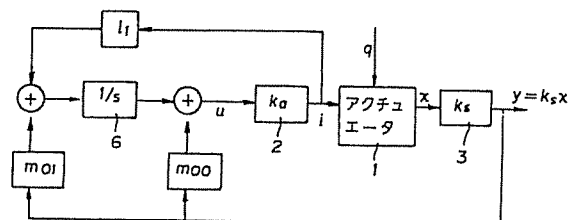
#### < 発明の効果 >

以上2つの実施例で説明したように、本発明によるばね装置は、従来の技術では実現不可能であった、外力の方向と逆の方向に変位する安定な負のばね特性を電氣的に実現する。従って、本発明のばね装置は、ロボットに代表されるメカトロニクス分野等において、単体であるいは通常のばねとの組合せなどにより、極めて応用範囲の広い機構要素になり得る。たとえば、ばり取りロボットのエンドエフェクタの前端に本装置を組み入れることにより、柔軟な土台に支持された対象物の凹凸をより積極的に削り取るような作業が可

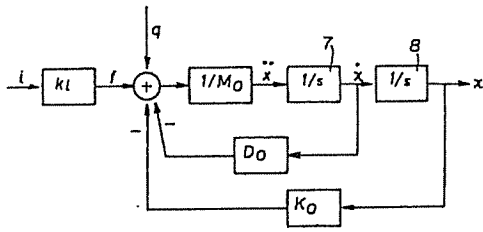
第 1 図



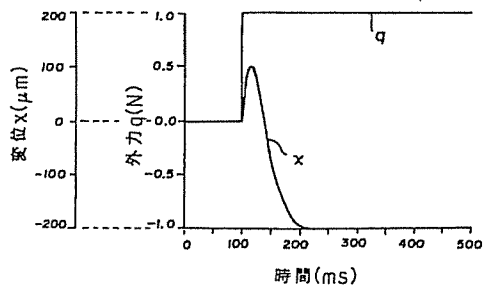
第 2 図



第 3 図



第 4 図



第 5 図

